

Verkehrsemissionen: ein Problem für das Klima

Der Transportsektor verzeichnet rasches Wachstum – das bleibt nicht ohne Folgen für das Klima. Hinsichtlich der Emission von Treibhausgasen ist der Verkehr der am schnellsten wachsende Bereich menschlicher Aktivität. Das gilt in besonderem Maße für die Europäische Union, wo zwar der Kohlendioxidausstoß und der anderer Gase aus dem Kyoto-Protokoll insgesamt abnahmen, die Emissionen durch den Verkehr demgegenüber aber um 37 Prozent zulegt. Besonders stark schlägt der Anstieg des Luftverkehrs mit etwas mehr als einer Verdopplung im Zeitraum von 1990 bis 2007 zu Buche, Tendenz steigend. In zehn Jahren würde der Verkehr unter Beibehaltung der Trends nahezu die Hälfte der Kohlendioxid-Äquivalenz-Emissionen (neben CO₂ gehören noch Methan, Lachgas und andere dazu) ausmachen. Grund genug, den Beitrag des Verkehrs zur Klimabeeinflussung genauer zu betrachten: im Projekt QUANTIFY und in ATTICA.

Ergebnisse des europäischen Atmosphärenforschungsprojekts QUANTIFY und der Aktion ATTICA

Von Prof. Dr. Robert Sausen

Der Verkehr emittiert nicht nur Treibhausgase wie Kohlendioxid (CO₂) und Lachgas (N₂O). Er beeinflusst das Klima auch durch eine Reihe weiterer Prozesse, die nicht durch das Kyoto-Protokoll geregelt sind: Dazu gehören Emissionen von Wasserdampf, von Ozonvorläufern wie Stickoxiden (NO_x) und von Partikeln und deren Vorläufern (zum Beispiel Ruß, Schwefelverbindungen). Die Wolkenbildung wird angeregt (Kondensstreifen, Kondensstreifen-Zirren) und natürliche Wolken werden modifiziert, beispielsweise durch Emissionen von Ruß und Schwefelverbindungen. Diese sogenannten Nicht-CO₂-Effekte spielen beim Verkehr eine besonders wichtige Rolle, da dieser häufig in Regionen und Höhen emittiert, in denen es sonst keine großen Quellen gibt.

In der EU-15 nahm die Summe aller Äquivalent-CO₂-Emissionen von Treibhausgasen, wie sie im Kyoto-Protokoll geregelt sind, vom Basis-Jahr 1990 bis 2007 um 5,5 Prozent ab. Dementgegen stiegen im gleichen Zeitraum die entsprechenden Emissionen des Verkehrs um 36,5 Prozent an. Lag 1990 der Anteil der Verkehrsemissionen noch bei knapp 22 Prozent aller Äquivalent-CO₂-Emissionen der EU-15, so waren 2007 bereits knapp 32 Prozent erreicht. Falls die EU ihr neues Reduktionsziel (bis 2020 minus 20 Prozent relativ zu 1990) erreicht und die Verkehrsemissionen ähnlich schnell wachsen wie in den beiden jüngsten Jahrzehnten, würde der Anteil des Verkehrs im Jahr 2020 circa 45 Prozent betragen.

Kondensstreifen über der Biscaya vor der französischen Atlantik-Küste



QUANTIFY-Messkampagne am westlichen Ausgang des Ärmelkanals

©Jana Moldanova
IM-Svenska Miljöinstitutet

Sowohl der wachsende Anteil des Verkehrs an der Klimaänderung als auch die mit dem Verkehr verbundenen besonderen Klimaeffekte legten es nahe, die Beiträge des Verkehrs systematisch zu quantifizieren. Das war Ziel des im März 2005 gestarteten Projekts QUANTIFY (Quantifizierung der Klimawirkungen des globalen und europäischen Verkehrssystems – Quantifying the Climate Impact of Global and European Transport Systems) mit einem Kostenrahmen von 12,8 Millionen Euro und 41 teilnehmenden Einrichtungen aus 19 Ländern. Parallel wurden in ATTICA (European Assessment of Transport Impacts on Climate Change and Ozone Depletion) Sachstandsberichte zur Klimawirkung der einzelnen Verkehrsträger und zu Maßzahlen erstellt, um deren Klimawirkungen vergleichen zu können.

Die Auswirkungen des Verkehrs auf die Zusammensetzung der Atmosphäre und auf das Klima lassen sich anhand der QUANTIFY-Prozesskette verdeutlichen. Die Emissionen der wichtigen Verkehrsträger (Luftfahrt, Schifffahrt und Landverkehr) wurden durch zweidimensionale (Länge mal Breite) beziehungsweise dreidimensionale (bei Luftfahrt zusätzlich Höhe) Emissionskataster einschließlich Tages- und Jahresgang beschrieben. Die Daten umfassen unter anderem Kohlendioxid (CO_2), Stickoxide (NO_x), Ruß und zurückgelegte Strecken der Verkehrsträger. Die Emissionen werden im Nahfeld hinter der Quelle chemisch und mikrophysikalisch prozessiert und auf größere räumliche Skalen verteilt. Da die Prozesse nicht linear ablaufen und Luftverkehr und Schifffahrt hohe Quellstärken aufweisen, verdienen in diesem Zusammenhang diese Verkehrsträger besondere Betrachtung. Deshalb wurde in QUANTIFY eine umfangreiche Messkampagne mit dem DLR-Forschungsflugzeug Falcon durchgeführt. So wurde die Wirkung der Prozesse im Nahfeld hinter Schiffen bestimmt.

Die emittierten Stoffe werden auf großräumiger Skala weiter umgewandelt und transportiert, bis sie schließlich durch Senkenprozesse (Auswaschen, Ablagerung am Boden) aus der Atmosphäre verschwinden. Die NO_x -Emissionen des Verkehrs führen zu einer katalytischen Bildung von Ozon. Da der Luftverkehr seine Abgase vor allem in größeren Höhen (acht bis 13 Kilometer) freisetzt, existieren die NO_x -Moleküle länger als am Erdboden emittierte; auch Ozon existiert dort länger. So kommt es, dass jedes NO_x -Molekül aus dem Luftverkehr zu etwa fünfmal so vielen Ozonmolekülen führt, wie aus einem NO_x -Molekül aus dem Straßenverkehr resultieren. Das durch den Verkehr zusätzlich gebildete Ozon führt zu einer Erwärmung des Klimas.

Gleichzeitig mit der Bildung des Ozons wird bei den hierbei ablaufenden chemischen Prozessen Methan abgebaut. Das wiederum hat einen kühlenden Effekt. Hier sind die Schiffsabgase, die häufig weit entfernt von den anderen vom Menschen verursachten Emissionen erfolgen, besonders effektiv: Pro emittiertem NO_x -Molekül aus der Schifffahrt wird die Lebensdauer von Methan etwa viermal so stark reduziert, wie das bei einem NO_x -Molekül aus der Luftfahrt der Fall ist. In der Summe führen die NO_x -Effekte des Land- und Luftverkehrs zu einer Klimaerwärmung, die der Meeres-Schifffahrt zu einer Abkühlung.

Verkehrsemissionen beeinflussen auch die Bewölkung. Besonders sichtbar ist das anhand der Bildung von Kondensstreifen und sogenannten Ship Tracks. Kondensstreifen entstehen aus den Wasserdampfemissionen des Luftverkehrs. Bei hinreichend kalter und feuchter Atmosphäre können die Kondensstreifen lange am Himmel existieren und sich unter Nutzung des in der Atmosphäre vorhandenen Wasserdampfs ausbreiten. Schließlich entwickeln sie sich von linienförmigen Kondensstreifen zu Kondensstreifen-Zirren, die auf den ersten Blick nicht von natürlichen Zirren unterscheidbar sind. Je nach Tageszeit, Höhe des Sonnenstands und Hintergrundbedingungen können diese Kondensstreifen und Zirren erwärmend oder abkühlend wirken. In der Summe überwiegt der erwärmende Effekt.

Ship Tracks entstehen in Folge der Schwefel- und Rußemissionen der Schifffahrt. Ähnlich wie bei Kondensstreifen handelt es sich hierbei um linienförmige Wolken, allerdings in niedriger Höhe. Diese Wolken wirken in der Summe kühlend auf das Klima. Neben diesen direkt dem Verkehr zuzuordnenden Wolken gibt es auch noch indirekte Einflüsse auf Wolken aufgrund der Emission von Wolkenkondensationskernen beziehungsweise deren Vorläufern (Ruß, Schwefelverbindungen). Hier sticht die Schifffahrt besonders hervor; speziell deren Schwefelemissionen führen zu einem höheren Bedeckungsgrad durch niedrige Wolken, die die Erde abkühlen.

Neben den bereits genannten Prozessen verändern noch weitere verkehrsbedingte Substanzen und Prozesse den Strahlungshaushalt der Erde. Diese quantifiziert man üblicherweise mittels des sogenannten Strahlungsantriebs (radiative forcing = RF, Einheit W/m^2). Die zu erwartende Änderung im Gleichgewicht der global gemittelten Bodentemperatur ist in erster Ordnung proportional zum Strahlungsantrieb. Positiver Strahlungsantrieb führt zu einer Erwärmung, negativer zu einer Abkühlung.

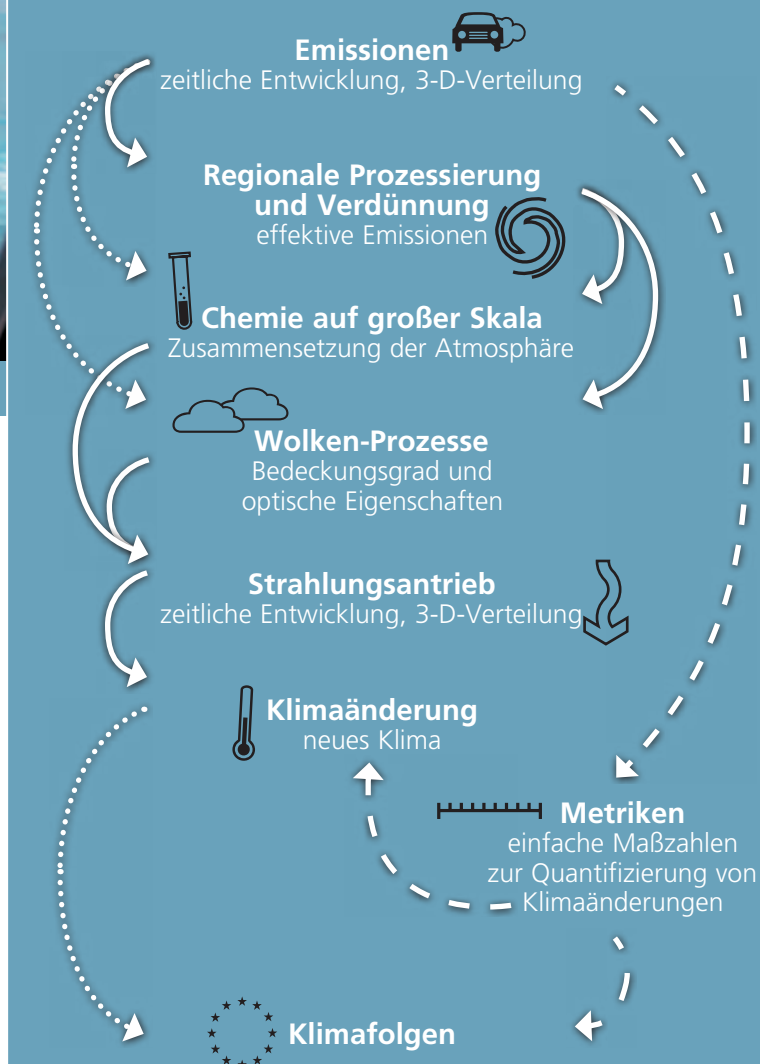
Neben dem langlebigen Treibhausgas CO_2 sind beim Verkehr die in der Regel kurzlebigeren Nicht- CO_2 -Effekte von besonderer Bedeutung. Im Jahre 2005 betrug der gesamte Strahlungsantrieb (aufgrund von CO_2 und der Nicht- CO_2 -Effekte) für den Luftverkehr 78 Milliwatt pro Quadratmeter (mW/m^2), bei der Schifffahrt minus 328 mW/m^2 und im Landverkehr (Straßen- und Bahnverkehr) 193 mW/m^2 ; das sind für den Schiffsverkehr minus 19,8 Prozent, den Luftverkehr 4,7 Prozent und für den Landverkehr 11,6 Prozent des gesamten vom Menschen verursachten Strahlungsantriebs. Während also Luftfahrt und Landverkehr erwärmend wirken, kühlt die Schifffahrt das Klima. Der kühlende Effekt der Schifffahrt geht allerdings mit einer massiven Verschlechterung der Luftqualität einher.

Berücksichtigt man nur die CO_2 -Emissionen des Verkehrs, so lag der 2005 im Projekt QUANTIFY berechnete Strahlungsantrieb des Luftverkehrs bei 28 mW/m^2 , der Schifffahrt bei 34 mW/m^2 und des Landverkehrs bei 171 mW/m^2 – das sind 1,6 Prozent, 2,0 Prozent beziehungsweise 10,3 Prozent des gesamten vom Menschen verursachten Strahlungsantriebs.

Der Strahlungsantrieb führt letzten Endes zu einer Klimaänderung, die sich nicht nur in einer Temperaturänderung, sondern auch in anderen Variablen manifestiert, zum Beispiel in Änderungen des Niederschlags oder von Extremwetterereignissen. Die CO_2 -bedingten Klimaantriebe und die Antriebe durch die Nicht- CO_2 -Effekte des Verkehrs unterscheiden sich in ihrer geographischen Verteilung. Daraus folgen unterschiedliche räumliche Muster der Temperaturänderung.

Genau berechnen lässt sich der Beitrag von Emissionen zur Klimaänderung nur mit kostspieligen numerischen Simulationen auf Hochleistungsrechnern. Näherungsweise lassen sich die in aufwändigen Studien gewonnenen Resultate mit Hilfe von Maßzahlen (Metriken) darstellen. Das reicht in vielen Fällen aus, um verschiedene Klimaeffekte des Verkehrs untereinander und mit anderen anthropogenen Klimaeffekten quantitativ zu vergleichen. In QUANTIFY wurden hierzu primär Maßzahlen auf Basis des zeitlich integrierten Strahlungsantriebs und auf Basis der Temperaturänderung untersucht. Mit Abschluss des QUANTIFY-Projekts im Februar 2010 steht nun ein quantitativer Vergleich der Klimawirkung verschiedener Verkehrsträger zur Verfügung.

QUANTIFY-Prozesskette



Autor:

Prof. Dr. Robert Sausen vom DLR-Institut für Physik der Atmosphäre ist Klimamodellierer. Er befasst sich insbesondere mit Auswirkungen des Verkehrs auf die Zusammensetzung der Atmosphäre und das Klima. Er war koordinierender Leitautor des IPCC Special Reports „Aviation and the Global Atmosphere“ und wurde zum Leitautor des 5. Sachstandsberichts des IPCC berufen.

Weitere Informationen:

<http://ip-quantify.eu>
www.DLR.de/PA